



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34508 (13) C2

(51) 7 G01H5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ І ПРИСТРІЙ
ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 98063403

(22) 30.06.1998

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. №2, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Здоренко Валерій Георгійович, Іващенко Григорій Олексійович

(73) ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ, ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ВІКТОРІЯ"

(56) Авторське свідоцтво СРСР № 1381343, 1986.

(57) 1. Спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, за яким збуджують електричні коливання, утворюють електричні коливання послідовно на двох частотах, поділяють їх на кожній з частот на опорні та зондуючі, здійснюють часову затримку електричних коливань на фіксований проміжок часу, перетворюють зондуючі електричні коливання в акустичні коливання, випромінюють акустичні зондуючі коливання в середовище, що досліджується, приймають акустичні зондуючі коливання, що пройшли контрольоване середовище, і перетворюють їх в електричні зондуючі коливання, вимірюють фазовий зсув між опорними і прийнятими зондуючими електричними коливаннями і визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань за формулою, який **відрізняється** тим, що збуджують електричні коливання низької F_1 і високої f_1 частот, електричні коливання послідовно на двох частотах утворюють зсувом високочастотних електричних коливань частоти f_1 на значення низької частоти F_1 у напрямку зменшення частоти $f_1 - F_1$ і у напрямку збільшення частоти $f_1 + F_1$, часову затримку здійснюють на час $\Delta\tau$ послідовно зондуючих коливань, при цьому вимірюють фазовий зсув φ_1 , і опорних коливань, при цьому вимірюють фазовий зсув φ_2 , порівнюють виміряні фазові зсуви φ_1 і φ_2 , потім змінюють частоту високочастотних коливань до значення f_2 , при якому досягається рівність абсолютних значень φ_1 і φ_2 , змінюють частоту зсуву F_1 до значення F_2 , при якому досягаються нульові значення цих фазових зсувів, вимірюють відношення частоти зсуву F_2 до значення частоти високочастотних коливань f_2 , а швидкість розповсюдження акустичних коливань C_x визначають за формулою

$$C_x = \frac{F_2}{f_2} \cdot \frac{l}{\Delta\tau},$$

де l - акустична база вимірів.

2. Пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, що містить генератор високої частоти, блок фіксованої затримки, послідовно електроакустично з'єднані випромінювач і приймач акустичних коливань, підсилювач високої частоти і фазовий детектор, послідовно з'єднані блок регульованої затримки і атенуатор, які підключені до другого входу фазового детектора, і цифровий частотомір, який **відрізняється** тим, що в нього введені фазокомпенсаційний односмуговий модулятор, двофазний генератор низької частоти, послідовно з'єднані фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги і перший інтегратор, послідовно з'єднані фільтр верхніх частот, підсилювач змінної напруги, фазочутливий випрямляч і другий інтегратор, мультівібратор і чотири автоматичні перемикачі, при цьому протилежні входи першого і другого перемикачів з'єднані між собою і підключені до виходу і входу блока фіксованої затримки, вихід першого автоматичного перемикача з'єднаний з входом випромінювача акустичних коливань, вихід другого автоматичного перемикача з'єднаний з входом блока регульованої затримки, протилежні входи третього і четвертого автоматичних перемикачів з'єднані між собою і підключені до виходів двофазного генератора низької частоти, виходи цих автоматичних перемикачів з'єднані з керувальними входами фазокомпенсаційного односмугового модулятора, включеного між виходом генератора високої частоти і входом блока фіксованої затримки, вихід фазового детектора підключений до входу фільтра нижніх частот і входу фільтра верхніх частот, вихід першого інтегратора з'єднаний з керувальним входом генератора високої частоти, а вихід другого інтегратора з'єднаний з керувальним входом двофазного генератора низької частоти, один з виходів якого з'єднаний з одним входом цифрового частотоміра, інший вхід якого з'єднаний з виходом генератора високої частоти, а керувальні входи чотирьох автоматичних перемикачів з'єднані з виходами мультівібратора і керувальними входами фазочутливого випрямляча.

Винахід відноситься до акустичних вимірів і може бути використаний при контролі складу речовин і матеріалів по швидкості розповсюдження акустичних коливань.

Відомий спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань [наприклад, Бражников Н.И. Ультразвуковая фазометрия. М.: Энергия, 1968, с. 102], оснований на вимірі зсуву фаз електричних коливань між випромінювачем та приймачем акустичних коливань, розташованими на заданій відстані друг від друга.

Спосіб може бути застосовано лише для вузького діапазону зміни швидкостей розповсюдження акустичних коливань, що вимірюються в досліджуємому середовищі, і точність вимірів різко знижується навіть при незначному розширенні діапазону зміни швидкостей. Це пов'язане з тим, що з'являється неоднозначність виміру зсуву фаз між випромінюваними та прийнятими коливаннями.

Так, наприклад, при відстані між випромінювачем та приймачем (акустичній базі) $l = 60$ мм, частоті коливань $f = 1$ МГц і зміні швидкості акустичних коливань від 200 до 1300 м/с зсув фаз змінюється від $\approx 300 \cdot 2\pi$ до $\approx 50 \cdot 2\pi$ (радіан). При розширенні діапазону швидкостей до 4500 м/с (тверді тіла) число фазових циклів в 2π зростає, і фазова неоднозначність збільшиться.

Відомий спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань [а.с. СРСР № 785656, МКВ G 01 H 5/00, 1977, Б. В., №45, 1980], оснований на вимірі зсуву фаз електричних коливань між випромінювачем і основним та додатковим приймачами, розташованими на заданій відстані друг від друга, при цьому вимірюють зсув фаз між приймачами, один з яких розташований від випромінювача на відстані, відмінній від заданої, і по отриманому значенню зсуву фаз між одним з приймачів і випромінювачем визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань.

Для усунення фазової неоднозначності вимірюють зсув фаз між основним і додатковим приймачами, розташованими так, що різниця відстаней від приймачів до випромінювача утворить ще одну акустичну базу

$$\Delta l = \frac{C_{\max} \cdot C_{\min}}{f(C_{\max} - C_{\min})},$$

де C_{\min} і C_{\max} - відповідно мінімальна і максимальна швидкості розповсюдження акустичних коливань. Наприклад, при зміні швидкості акустичних коливань від 200 до 1300 м/с при частоті $f = 1$ МГц акустична база $\Delta l = 0,29$ мм.

Способу притаманні невисока точність визначення швидкості і значні витрати часу. Це пояснюється тим, що важко забезпечити постійність настільки малого значення Δl , особливо в виробничих умовах. Крім цього, згідно з цим способом, спочатку необхідно зробити грубе визначення швидкості C_x , по якому знаходять діапазон і відповідне цьому діапазону ціле число n фазових циклів в 2π . Після цього по знайденому числу фазових циклів і визначеному значенню фазового зсуву останнього циклу визначають точне значення швидкості C_{x0} .

Відомий також спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань [а.с. СРСР №1381343, МКВ G 01 H 5/00, 1986, Б. В., №10, 1988], який полягає в тому, що збуджують електричні коливання, утворюють електричні коливання послідовно на двох частотах, поділяють їх на кожній з частот на опорні і зондуючі, здійснюють часову затримку електричних коливань на фіксований проміжок часу, перетворюють зондуючі електричні коливання в акустичні коливання, випромінюють акустичні зондуючі коливання в середовище, що досліджується, приймають акустичні зондуючі коливання, що пройшли контрольоване середовище, і перетворюють їх в електричні зондуючі коливання, вимірюють зсув фаз між опорними і прийнятими зондуючими електричними коливаннями і визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань по формулі.

При цьому вимірюють на кожній з частот фазові зсуви φ_1 і φ_2 фаз між опорними і зондуючими коливаннями, здійснюють часову затримку зондуючих коливань на проміжок часу Δt , вимірюють зсув фаз φ_3 і φ_4 , між опорними і затриманими зондуючими коливаннями відповідно на частотах f_1 і f_2 , а швидкість розповсюдження акустичних коливань визначають по формулі

$$C_x = \left(\frac{\varphi_4 - \varphi_3 - 1}{\varphi_1 - \varphi_2} \right) \frac{l}{\Delta t},$$

де l - акустична база вимірів.

Однак і цей спосіб не забезпечує високої точності, бо, при визначенні швидкості розповсюдження акустичних коливань в широкому діапазоні значень дискретна зміна частоти може викликати зміну зсуву фаз на величину, більшу 2π , що призведе до переходу до іншого фазового циклу і, таким чином, до неоднозначності фазових вимірів.

Відомий пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань (див. Маєвський С. М. Спосіб контролю залишкової міцності шляхом визначення швидкості розповсюдження ультразвуку. Матеріали другої Української науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика», 12-16 травня 1997 р., м. Дніпропетровськ, стор. 30-34), що містить високочастотний генератор змінної частоти, послідовно з'єднані фазообертач на 180° , фазообертач на 90° , перший фазовий детектор, перший піковий детектор і перший аналого-цифровий перетворювач (АЦП), послідовно з'єднані ключ, обмежувач амплітуди, підсилювач, другий фазовий детектор, другий піковий детектор і другий АЦП, а також ультразвуковий перетворювач, з'єднаний з виходом ключа, при цьому виходи першого і другого АЦП з'єднані з входами мікропроцесора, вихід високочастотного генератора змінної частоти з'єднаний з входами ключа і фазообертача на 180° , а другий вхід другого фазового детектора з'єднаний з виходом фазообертача на 180° .

Пристрою властива складність апаратурної реалізації та можливість виникнення значної похибки визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, зумовленої неідентичністю характеристик фазових детекторів, пікових детекторів, а також можливим переходом до сусіднього

фазового циклу при вимірі фазового зсуву на другій частоті.

Відомий також пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань по а. с. СРСР №1381343, МКВ G 01 H 5/00, 1986, що містить генератор змінної частоти, блок фіксованої затримки, послідовно електроакустично з'єднані випромінювач і приймач акустичних коливань, підсилювач високої частоти і фазовий детектор, послідовно з'єднані блок регульованої затримки і атенюатор, які підключені до другого входу фазового детектора, і цифрової частотомір. Крім того, пристрій містить аналого-цифровий перетворювач, мікро-ЕОМ і ключ, включений паралельно блоку фіксованої затримки, керувальний вхід ключа підключено до мікро-ЕОМ, регулюючий вхід генератора змінної частоти і цифрової індикатор підключені до мікро-ЕОМ, вихід генератора змінної частоти з'єднаний з блоками фіксованої і регульованої затримки, вихід фазового детектора підключений до входу аналого-цифрового перетворювача, вихід якого підключений до мікро-ЕОМ.

Однак відомий пристрій не забезпечує високої точності визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань в різноманітних середовищах. Це пояснюється відносно низькою точністю виміру фазових зсувів, що змінюються в широкому діапазоні значень при амплітудах і частотах зондуючих і опорних коливань, що також змінюються у досить широкому діапазоні. Необхідність кодування фазових зсувів, що вимірюються, і управління структурою вимірювальної схеми за допомогою мікро-ЕОМ призводить до певної апаратурної складності в реалізації відомого пристрою.

В основу винаходу покладена задача створити такі спосіб та пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, у яких введення нових операцій і нового співвідношення для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань в способі, введення нових елементів в їхньому зв'язку між собою і відомими в пристрої дозволив би підвищити точність визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань за рахунок виключення неоднозначності фазових вимірів і спростити апаратурну реалізацію за рахунок виміру частоти електронними частотомірами замість виміру фазових зсувів електронними фазометрами, які мають меншу точність вимірів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, який полягає в тому, що збуджують електричні коливання, утворюють електричні коливання послідовно на двох частотах, поділяють їх на кожній з частот на опорні та зондуючі, здійснюють часову затримку електричних коливань на фіксований проміжок часу, перетворюють зондуючі електричні коливання в акустичні коливання, випромінюють акустичні зондуючі коливання в середовище, що досліджується, приймають акустичні зондуючі коливання, що пройшли контрольоване середовище, перетворюють їх в електричні зондуючі коливання, вимірюють фазовий зсув між опорними і прийнятими зондуючими електричними коливаннями і визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань

по формулі, згідно з винаходом, збуджують електричні коливання низької F_1 і високої f_1 частот, електричні коливання послідовно на двох частотах утворюють зсувом високочастотних електричних коливань частоти f_1 на значення низької частоти F_1 у напрямку зменшення частоти $f_1 - F_1$ і у напрямку збільшення частоти $f_1 + F_1$, часову затримку здійснюють на час Δt , послідовно зондуючих коливань, при цьому вимірюють фазовий зсув φ_1 , і опорних коливань, при цьому вимірюють фазовий зсув φ_2 , порівнюють виміряні фазові зсуви φ_1 і φ_2 , потім змінюють частоту високочастотних коливань до значення f_2 , при якому досягається рівність абсолютних значень φ_1 і φ_2 , змінюють частоту зсуву F_1 до значення F_2 , при якому досягаються нульові значення цих фазових зсувів, вимірюють відношення частоти зсуву F_2 до значення частоти високочастотних коливань f_2 , а швидкість розповсюдження акустичних коливань C_x визначають по формулі

$$C_x = \frac{F_2}{f_2} \cdot \frac{l}{\Delta t}$$

де l - акустична база вимірів.

Поставлена задача вирішується також тим, що в пристрої для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань, що містить генератор високої частоти, блок фіксованої затримки, послідовно електроакустично з'єднані випромінювач і приймач акустичних коливань, підсилювач високої частоти і фазовий детектор, послідовно з'єднані блок регульованої затримки і атенюатор, підключені до другого входу фазового детектора, і цифровий частотомір, згідно з винаходом в нього введені фазокомпенсаційний односмуговий модулятор, двофазний генератор низької частоти, послідовно з'єднані фільтр нижніх частот, підсилювач постійної напруги і перший інтегратор, послідовно з'єднані фільтр верхніх частот, підсилювач змінної напруги, фазочутливий випрямляч і другий інтегратор, мультівібратор і чотири автоматичних перемикача, при цьому протилежні входи першого і другого перемикачів з'єднані між собою і підключені до виходу і входу блоку фіксованої затримки, вихід першого перемикача з'єднаний з входом випромінювача акустичних коливань, вихід другого перемикача з'єднаний з входом блоку регульованої затримки, протилежні входи третього і четвертого перемикачів з'єднані між собою і підключені до виходів двофазного генератора низької частоти, виходи цих перемикачів з'єднані з керувальними входами односмугового модулятора, включеного між виходом генератора високої частоти і входом блоку фіксованої затримки, вихід фазового детектора підключений до входу фільтру нижніх частот і входу фільтру верхніх частот, вихід першого інтегратора з'єднаний з керувальним входом генератора високої частоти, а вихід другого інтегратора з'єднаний з керувальним входом двофазного генератора низької частоти, один з виходів якого з'єднаний з одним входом цифрового частотоміра, інший вхід якого з'єднаний з виходом генератора високої частоти, а керувальні входи чотирьох автоматичних перемикачів з'єднані з виходами мультівібратора і керувальними входами фазочутливого випрямляча.

Введення в спосіб, що пропонується, операцій збудження низькочастотних електричних коливань частоти F_1 , зсуву високочастотних електричних коливань частоти f_1 на значення низької частоти F_1 , в напрямку зменшення до значення $f_1 - F_1$, виміру фазового зсуву при затримці зондуючих коливань на час Δt , наступній затримці тільки опорних коливань на той самий час Δt і зміні напрямлення зсуву частоти високочастотних коливань в напрямку збільшення до значення $f_1 + F_1$, вимірі при цьому значенні частоти фазового зсуву φ_2 , порівняння фазових зсувів φ_1 і φ_2 , зміні частоти високочастотних коливань до значення f_2 , при якому досягається рівність абсолютних значень фазових зсувів φ_1 і φ_2 , зміні значення низької частоти до значення F_2 , при якому досягаються нульові значення фазових зсувів φ_1 і φ_2 , виміру відношення частот F_2 і f_2 дозволяють підвищити точність визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань за рахунок виключення неоднозначності фазових вимірів (фазові зсуви φ_1 і φ_2 знаходяться в межах одного фазового циклу від $-\pi$ до $+\pi$). При цьому швидкість розповсюдження акустичних коливань визначається по новому співвідношенню

$$C_x = \frac{F_2}{f_2} \cdot \frac{l}{\Delta t},$$

де l - акустична база вимірів.

Введення в запропонований пристрій нових елементів з відповідними зв'язками дозволяє підвищити точність визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань за рахунок виключення неоднозначності фазових вимірів, виключення нестабільності і нелінійності характеристик фазового детектора на результат вимірів, а також дозволяє спростити та здешевити апаратну реалізацію пристрою за рахунок виключення ЕОМ і використання стандартних цифрових частотомірів для виміру відношення частот F_2 і f_2 .

На кресленні подана функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань.

Пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань містить генератор високої частоти 1, послідовно електрично з'єднані односмуговий фазокомпенсаційний модулятор 2, блок 3 фіксованої затримки, перший автоматичний перемикач 4, акустичні випромінювач 5 і приймач 6, підсилювач високої частоти 7, фазовий детектор 8, фільтр верхніх частот 9, підсилювач 10 змінної напруги, фазочутливий випрямляч 11, другий інтегратор 12 і регульований по частоті двофазний генератор низької частоти 13, послідовно з'єднані другий автоматичний перемикач 14, блок 15 регульованої затримки і атенуатор 16, підключені до другого входу фазового детектора 8, мультівібратор 17, третій та четвертий автоматичні перемикачі 18 і 19, керувальні входи яких з'єднані з керувальними входами автоматичних перемикачів 4 і 14 та підключені до виходу мультівібратора 17, і цифровий частотомір 20, один вхід якого з'єднаний з виходом генератора 1 високої частоти, другий вхід з'єднаний з одним з виходів двофазного генератора 13 низької частоти. Протилежні входи

автоматичних перемикачів 18 і 19 з'єднані між собою і підключені відповідно до виходів двофазного генератора 13 низької частоти, а їхні виходи з'єднані з керувальними входами односмугового модулятора 2. До виходу фазового детектора 8 підключені також послідовно з'єднані фільтр нижніх частот 21, підсилювач 22 постійної напруги і перший інтегратор 23, вихід якого з'єднаний з керувальним входом генератора 1 високої частоти.

Запропонований спосіб визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань здійснюють наступним чином.

Збуджують електричні коливання високої частоти f_1 і коливання низької частоти F_1 . Зсувають по частоті високочастотні коливання на значення низької частоти F_1 в напрямку зменшення частоти $f_1 - F_1$. Розділяють зсунуті по частоті коливання на зондуючі та опорні. Зондуючі коливання спочатку затримують на фіксований проміжок часу Δt і перетворюють зондуючі електричні коливання в акустичні, що випромінюють в середовище, що досліджується. Приймають акустичні коливання, що пройшли середовище, і перетворюють їх в електричні зондуючі коливання. Відстань l між випромінювачем та приймачем зондуючих коливань вибирають виходячи з необхідності отримання мінімальних вторинних відбиттів і допустимого рівня прийнятого сигналу. Вимірюють фазовий зсув між опорними і затриманими зондуючими коливаннями.

При зміні зсуву фаз між випромінюваними і прийнятими коливаннями на акустичній базі l з зміною швидкості акустичних коливань у діапазоні від C_{\min} до C_{\max} виникає неоднозначність визначення зсуву фаз. Це пов'язане з тим, що на базі l укладається більше одної довжини акустичної хвилі, тобто виникає фазовий зсув, більший 2π .

При означеній затримці зондуючих високочастотних електричних коливань їхню частоту зсувають в напрямку їхнього зменшення ($f_1 - F_1$). При цьому повний фазовий зсув Φ_1 між опорними і зондуючими коливаннями при швидкості розповсюдження акустичних коливань в досліджуємому середовищі C_x

$$\Phi_1 = 2\pi(f_1 - F_1) \left(\frac{l}{C_x} + \Delta t \right) = 2\pi \cdot n + \varphi_1, \quad (1)$$

де n - ціле число фазових циклів в 2π (ціла частина відношення акустичної бази до довжини ультразвукової хвилі λ);

φ_1 - дробова частина повного фазового зсуву Φ_1 в радіанах.

Вимірюють φ_1 - дробову частину повного фазового зсуву Φ_1 . Величину затримки коливань Δt вибирають такою, щоб внесений нею додатковий $\Delta\varphi$ фазовий зсув задовольняв умові

$$\Delta\varphi = 2\pi f_1 \Delta t < \pi, \quad (2)$$

тобто не перевищував би половину фазового циклу в радіанах.

Після цього здійснюють часову затримку тільки опорних коливань на той же проміжок часу Δt і змінюють напрямок зсуву частоти на про-

тилежний ($f_1 + F_1$). Повний фазовий зсув Φ_2 між опорними і зондуючими коливаннями приймає значення

$$\Phi_2 = 2\pi(f_1 + F_1) \left(\frac{l}{C_x} - \Delta\tau \right) = 2\pi \cdot n + \varphi_2, \quad (3)$$

де φ_2 - дробова частина зміненого повного фазового зсуву Φ_2 .

Якщо виконується умова (2), то зміна повного фазового зсуву відбудеться тільки в межах одного фазового циклу і на базі l також буде вкладатися n цілих довжин хвиль. Вимірюють φ_2 - дробову частину зміненого повного фазового зсуву Φ_2 . Порівнюють отримані значення фазових зсувів φ_1 і φ_2 . Якщо ці зсуви не рівні по абсолютним значенням, то змінюють частоту f_1 високочастотних коливань до значення f_2 , при якому фазові зсуви, що вимірюються, стають рівними ($\varphi_1 = \varphi_2$). З урахуванням рівності фазових зсувів, що вимірюються ($\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$), повні фазові зсуви (1) і (3) приймають вигляд

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 2\pi n + \varphi; \\ \Phi_2 &= 2\pi n - \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

Далі змінюють частоту F_1 низькочастотного зсуву до значення F_2 , при якому зникає дробова частина повних фазових зсувів Φ_1 і Φ_2 . При досягненні рівності повних фазових зсувів ($\varphi = 0$) вимірюють відношення частоти зсуву F_2 до частоти f_2 високочастотних коливань, по якому визначають швидкість розповсюдження акустичних коливань.

Справді, з рівності повних фазових зсувів (1) і (3) слідує, що

$$(f_2 - F_2) \left(\frac{l}{C_x} + \Delta\tau \right) = (f_2 + F_2) \left(\frac{l}{C_x} - \Delta\tau \right), \quad (5)$$

Вирішуючи рівняння (5) відносно швидкості розповсюдження акустичних коливань C_x , одержуємо

$$C_x = \frac{F_2}{f_2} \cdot \frac{l}{\Delta\tau}, \quad (6)$$

З отриманої формули (6) видно, що швидкість розповсюдження акустичних коливань C_x однозначно визначається відношенням частот низькочастотних і високочастотних коливань ($\frac{F_2}{f_2}$) при

вибраній базі l і часі затримки $\Delta\tau$. При цьому повністю виключається похибка неоднозначності фазових вимірів при $n > 1$. Діапазон змін низької частоти F_2 визначається діапазоном зміни швидкості акустичних коливань. З співвідношення (6) слідує, що частота, що зсуває

$$F_2 = \frac{f_2 \cdot \Delta\tau}{l} C_x, \quad (7)$$

Величину затримки $\Delta\tau$ можна визначити з співвідношення (2), якщо задатись значенням додаткового фазового зсуву від цієї затримки, кратним порогу чутливості фазових вимірів

$$\Delta\varphi < \Delta\varphi = 2\pi f_2 \Delta\tau < \pi, \quad (8)$$

де $\Delta\varphi_0$ - поріг чутливості фазових вимірів. З урахуванням коефіцієнта кратності K по порогу чутливості $\Delta\varphi_0$ маємо

$$\Delta\tau = \frac{K \cdot \Delta\varphi}{2\pi \cdot f_2}. \quad (9)$$

Враховуючи, що порогова чутливість електронних фазометрів складає $10^{-3} \dots 10^{-4}$ радіан, то при виборі частоти високочастотних коливань $f_2 = 1$ МГц, коефіцієнті $K = 100$ час затримки $\Delta\tau$ згідно з (9) приймає значення

$$\Delta\tau = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 10^6} \approx 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ с} = 16 \text{ нс}, \quad (10)$$

При зміні швидкості розповсюдження акустичних коливань від 200 до 1300 м/с і акустичній базі $l = 60$ мм частота зсуваючих коливань згідно з (7) змінюється від мінімального значення

$$\begin{aligned} F_{\min} &= \frac{f_2 \Delta\tau}{l} C_{\min} = \frac{10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-8}}{60 \cdot 10^{-3}} \cdot 200 = \\ &= 53,33 \text{ Гц}, \end{aligned} \quad (11)$$

до максимального

$$\begin{aligned} F_{\max} &= \frac{f_2 \Delta\tau}{l} C_{\max} = \frac{10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-8}}{60 \cdot 10^{-3}} \cdot 1300 = \\ &= 346,67 \text{ Гц}, \end{aligned} \quad (12)$$

Так як відносна похибка виміру частоти цифровими частотомірами досить мала ($10^{-6} - 10^{-7}$), то похибка виміру швидкості розповсюдження, в основному, визначається нестабільністю часу затримки $\Delta\tau$ ($10^{-3} - 10^{-4}$) і нестабільністю акустичної бази ($10^{-2} - 10^{-3}$) і не перевищує 0,1%.

Пристрій для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань працює слідуочим чином.

Високочастотні коливання генератора 1 надходять на сигнальний вхід однополосного модулятора 2, виконаного по фазокомпенсаційній схемі (наприклад, Штейн Б. Б., Черняк Н. А. Однополосная модуляция с помощью фазовых схем.-М., ГИЛ по вопросам связи и радио, 1959, с 75, рис. 3.7.1.).

На керувальні входи односмугового модулятора надходять зсунуті по фазі на 90° низькочастотні коливання від двофазного генератора 13, що перестроюється по частоті крізь автоматичні перемикачі 18 і 19. В результаті односмугової модуляції частота високочастотних коливань збільшується або зменшується на значення низької частоти в залежності від направлення чередуван-

ня фаз низькочастотних модулюючих коливань. При одному положенні перемикачів 18 і 19 встановлюється таке направлення чередування фаз квадратурних сигналів низької частоти, при якому частота зсунутих коливань зменшується, а при іншому, протилежному, положенні перемикачів 18 і 19 частота зсунутих коливань зростає. В результаті цього частота високочастотних коливань на виході односмугового модулятора періодично з частотою комутації збільшується або зменшується в залежності від положення цих перемикачів, зберігаючи одну і ту ж амплітуду зсозуваних по частоті коливань.

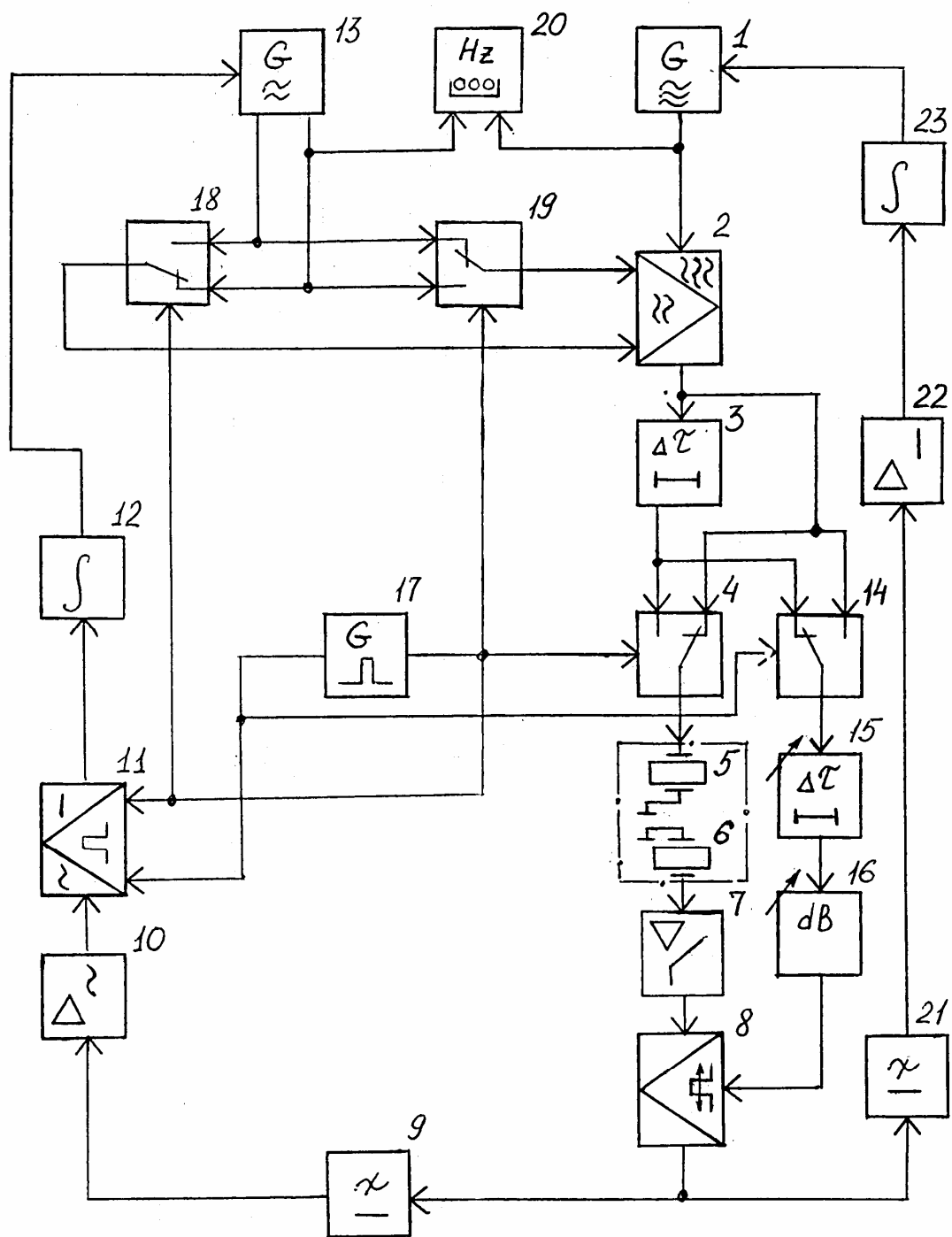
При положенні перемикачів 4 і 14, при якому фіксована затримка блоку 3 включена послідовно з електроакустичним трактом 5-6 положення перемикачів 18 і 19 забезпечує зменшення частоти високочастотних коливань на вході цього тракту. Коли перемикачі 4 і 14, 18 і 19 займають протилежне положення, фіксована затримка блоку 3 включається паралельно електроакустичному тракту, який містить перетворювачі 5 і 6, а частота високочастотних коливань на виході односмугового модулятора збільшується. У фазовому детекторі 8 відбувається порівняння фаз прийнятих і посиленних зондуючих коливань, що пройшли електроакустичний тракт 5 - 6, з опорними коливаннями тієї же частоти, що проходять крізь блок 15 регульованої затримки і перемінний атенюатор 16. Регулюванням блоку 15 затримки і атенюатора 16 вирівнюють амплітуди і фазові затримки коливань на входах фазового детектора 8 в відсутності середовища, що досліджується, або при мінімальній значенні швидкості розповсюдження акустичних коливань у цьому середовищі. При цьому початкова частота генератора 13 встановлюється відповідної мінімальної швидкості розповсюдження акустичних коливань у відповідності з виразом (10).

При введенні середовища, що досліджується, або зміні в ньому швидкості розповсюдження акустичних коливань порушується рівність фазових зсувів на входах фазового детектора 8 при двох положеннях автоматичних перемикачів 4 і 14, 18 і 19. Фазовий детектор 8, виконаний, наприклад, по двополярній тригерній схемі, має лінійну ділянку в діапазоні від $-\pi$ до $+\pi$ (один фазовий цикл). Для забезпечення роботи фазового детектора 8 в межах одного фазового циклу при введенні затримки Δt , постійна складова його вихідної напруги, що виділяється за допомогою фільтру нижніх частот 21, посилюється підсилювачем 22 постійної напруги та надходить на вхід інтегратора 23, вихідна напруга якого впливає на керувальний вхід генератора 1. Під впливом керуючої напруги частота генератора 1 змінюється до досягнення рівності абсолютних значень фазових зсувів протилежної полярності на входах фазового детектора 8 при двох положеннях автоматичних переми-

качів 4 і 14, 18 і 19. При цьому зникає постійна складова напруги на виході фазового детектора 8 і інтегратор 23 підтримує відповідне значення частоти генератора 1. Так як фазові зсуви, що порівнюються, мають різні знаки, то на виході фазового детектора 8 з'являється і перемінна складова напруги частоти (що задається мультівібратором 17) комутації, з амплітудою, пропорційною різниці абсолютних значень фазових зсувів, що порівнюються. Ця напруга виділяється фільтром 9 верхніх частот, посилюється підсилювачем 10 змінної напруги і випрямляється фазочутливим випрямлячем 11, що керується безпосередньо прямокутною напругою, що формується мультівібратором 17. Випрямлена напруга заряджає інтегратор 12, вихідна напруга якого впливає на керувальний вхід двофазного генератора 13. Під впливом керувальної напруги частота генератора 13 збільшується до зникнення різниці фаз на входах фазового детектора 8 при двох положеннях автоматичних перемикачів. При цьому зникає перемінна складова напруги на виході фазового детектора 8 і відповідно випрямлена напруга на виході фазочутливого випрямляча 11. Подальший заряд інтегратора 12 припиняється, його вихідна напруга утримує значення низької частоти, відповідне умові (5) рівності повних фазових зсувів, які складаються з цілого числа фазових циклів на входах фазового детектора 8. Відповідне значення відношення частот генераторів 1 і 13 визначається за допомогою цифрового частотомира, наприклад ЧЗ-65, працюючого в режимі виміру відношення частот двох коливань. Значення швидкості розповсюдження C_x можна безпосередньо визначати по індикатору частотомира 20.

У порівнянні з відомим, пристрій, що заявляється, забезпечує підвищення точності шляхом виключення впливу нелінійності і нестабільності перетворювальної характеристики фазового детектора на результат виміру і спрощення технічної реалізації за рахунок виключення ЕОМ з відповідними аналого-цифровими та цифроаналоговими перетворювачами з складу пристрою, а також виконавчими елементами, які керують роботою ключа, і використання стандартного цифрового частотомира, що виконує вимірювальні і прості обчислювальні операції.

Для оцінки метрологічних характеристик запропонованих способу та пристрою створено експериментальний зразок приладу для визначення швидкості розповсюдження акустичних коливань в деяких полімерних матеріалах (поліетилен, полівінілхлорид, капрон). Виміри проводились в діапазоні частот 0,5 - 2 МГц при частоті комутації 5 - 10 Гц. При цьому визначені за допомогою експериментального зразка приладу значення швидкості розповсюдження акустичних коливань в матеріалах, що досліджувались, відрізнялись від табличних не більш ніж на 0,1 - 0,5%.



Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
 (03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03